

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2001年5月10日 (10.05.2001)

PCT

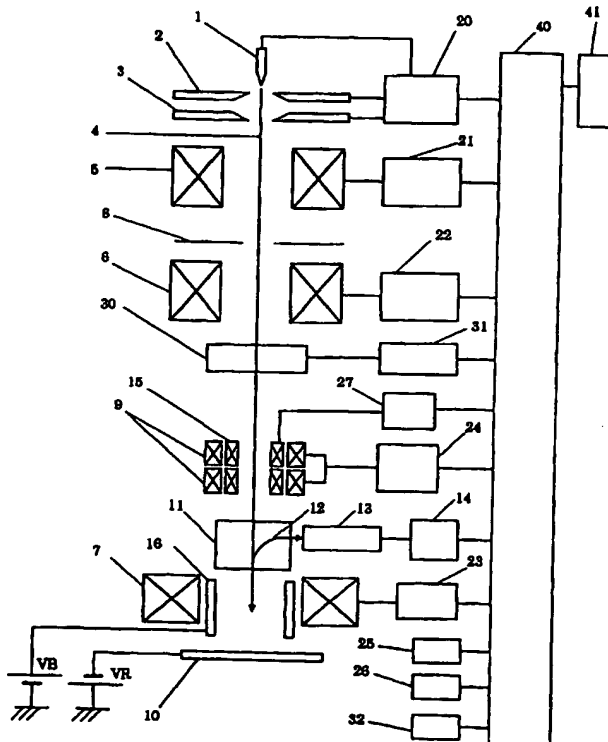
(10) 国際公開番号
WO 01/33603 A1

- (51) 国際特許分類: H01J 37/147, 37/153, 37/05
(21) 国際出願番号: PCT/JP99/06054
(22) 国際出願日: 1999年10月29日 (29.10.1999)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立製作所 (HITACHI, LTD.) [JP/JP]; 〒101-8010 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地 Tokyo (JP).
(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 佐藤 貢 (SATO, Mitsugu) [JP/JP]. 戸所 秀男 (TODOKORO, Hideo) [JP/JP]; 〒312-0033 茨城県ひたちなか市市毛882番地 株式会社日立製作所 計測器グループ内 Ibaraki (JP).
(74) 代理人: 高田 幸彦, 外 (TAKADA, Yukihiko et al.); 〒317-0073 茨城県日立市幸町二丁目1番48号 Ibaraki (JP).
(81) 指定国 (国内): JP, KR, US.
(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
添付公開書類:
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: ELECTRON BEAM APPARATUS

(54) 発明の名称: 電子線装置



(57) Abstract: An electron beam (4) applied to a specimen (10) is two-dimensionally scanned by a scanning coil (9), and secondary electrons produced from the specimen (10) are detected by a secondary electron detector (13). A deflecting coil (15) for image shifting electrically deflects a primary electron beam to shift the visual field in a given direction by a given distance by image shifting. This image shifting causes energy dispersion of the primary electron beam (4) applied to the specimen, thereby degrading the resolution. However, an ExB field generator (30) for dispersion control provides energy dispersion whose direction is opposite to that caused by the primary electron beam and whose magnitude is equal to that caused by the same, so that the energy dispersion caused by the primary electron beam is automatically corrected by image shifting.

[続葉有]

WO 01/33603 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

試料(10)に照射される電子線(4)は走査コイル(9)によって二次元的に走査され、それによって試料(10)から発生する二次電子は二次電子検出器(13)によって検出される。イメージシフト用の偏向コイル(15)は一次電子線を電氣的に偏向してイメージシフトによる視野移動を任意方向に任意量だけ行うのに用いられる。このイメージシフトによって、試料に照射される一次電子線(4)はエネルギー分散を起こし、分解能が低下する。しかし、分散制御用のE×Bフィールド発生器(30)は上記エネルギー分散と方向が逆で大きさが同じエネルギー分散を与える。したがって、イメージシフトによって一次電子線に発生したエネルギー分散は自動的に補正される。

明 細 書

電子線装置

技術分野

本発明は電子線装置、特に半導体の微細パターンの評価又は一般的な試料の汎用的な

- 5 観察を行う走査電子顕微鏡のような電子線装置に関する。

背景技術

一次電子線を試料上で走査して、試料の走査像を得る走査電子顕微鏡のような電子線装置は、半導体の微細なパターンの検査や計測など、パターン評価の目的に用いられている。このような目的の装置においては、電子線照射領域（観察視野）をウエハ上の評価ポイントに精度よく移動させるために、一次電子線を電氣的に偏向して、数 μm ～10 μm 程度の範囲で電氣的に観察視野を移動するイメージシフト機能を有している。

また、一般的な試料の汎用的な観察目的の走査電子顕微鏡においては、主に試料ステージの機械的移動で観察視野を移動させるが、観察倍率が高くなると、ステージの機械的移動では微少な動きが困難なため、所定の視野を観察中心に移動させるためにイメージシフトが用いられる。この場合、イメージシフトによる視野移動量が大きいほど、広範囲な領域で迅速な視野移動が可能になり、装置の操作性が向上する。

さらに、半導体や先端材料の計測では、試料の帯電を防ぐために、一般に数kV以下の低い加速電圧を用い、ナノメートルオーダーの観察を行う必要性が高まっている。そのため、こうした目的の走査電子顕微鏡においては、対物レンズの焦点距離を短くして使用したり、試料に負の電圧を印加（リターディング法）して、対物レンズの収差を低減し、低加速電圧における分解能の改善を図っている。

試料に負の電圧を印加するリターディング法においては、試料から発生した二次電子が試料に印加した電圧により加速されて、対物レンズの上部へと進行するため、特許第2821153号明細書に記載されているように、対物レンズの上部に直交する電界と磁界（ $E \times B$ フィールド）を発生させて、試料から発生する二次電子の軌道を偏向して電子源から進行する一次電子の軌道から分離し、二次電子を高効率で二次電子検出器で検出している。また、特許第2821153号明細書には、試料から発生する二次電子を偏向させるた

めのE×Bフィールドにより発生する色収差を打ち消すために、二次電子偏向用のE×Bフィールドよりさらに電子源側にもE×Bフィールドを設け、電子源側に設けたE×Bフィールドで発生する色収差で、二次電子偏向用のE×B (EクロスB) フィールドの色収差を相殺する方法が開示されている。ただし、特許第2821153号明細書に記載された技術に

5 おいては、二次電子の偏向方向(単一方向のみ)で発生するエネルギー分散のみが補正の対象になっている。

一次電子線を電氣的に偏向して観察視野を任意方向に任意量だけ移動するイメージシフト機能は、上述の如く、特に分解能が高く高倍率の走査像を得る電子線装置には欠くことのできない機能であるが、イメージシフトを行うと、そのイメージシフトの方向

10 にイメージシフト量に対応して一次電子線がエネルギー分散を受けて、分解能低下が生じる。この分解能低下は装置の分解能が高くなるにつれて無視できない問題となる。

発明の開示

本発明の目的は分解能の低下なしに任意方向にイメージシフトを行うのに適した電子線装置を提供することにある。

15 本発明は、一つの観点によれば、電子線を放出させる電子源と、前記電子線を収束する収束レンズと、前記収束された電子線を試料上で走査して該試料の走査像を生成する手段とを含む電子線装置において、前記電子線をエネルギー分散させかつそのエネルギー分散を前記電子線の軸を横切る平面内において任意方向に生成することができるエネルギー分散制御手段を備えていることを特徴とする。

20 本発明は、もう一つの観点によれば、電子線を放出させる電子源と、前記電子線を収束する収束レンズと、前記収束された電子線を試料上で走査して該試料の走査像を生成する手段とを含む電子線装置において、前記電子線の軸上で互いに直交する電界および磁界を発生させる手段と、前記電界および磁界による前記電子線の偏向方向のずれを180°とし、かつ、前記電子線の偏向角が前記電界と磁界とで1対2の関係となるよう

25 に前記電界および磁界の強さを制御する手段とを有することを特徴とする。

本発明の他の目的および特徴は図面を参照してなされる以下の説明から明らかとなるであろう。

図面の簡単な説明

- 第1図は本発明にもとづく一実施例を示す電子線装置のブロック図である。
- 第2図は第1図の分散制御用EXBフィールド発生器の構成図である。
- 第3図は第1図の像表示装置における画面の一例を示す図である。
- 5 第4図は分散制御用E×B フィールドの自動調整フローを示す図である。
- 第5図は分散制御用E×B 制御電圧とイメージシフト量との関係の一例を示すグラフである。
- 第6図は分散制御用E×B フィールド発生器における補正係数および制御係数の決定手順を示すフロー図である。
- 10 第7図は一次電子線の電氣的偏向によって生じる軌道分散の説明図である。
- 第8図はエネルギー分散を受ける前と後の一次電子線の断面形状を示す図である。
- 第9図は収束レンズによる一次電子線の軌道偏向生成原理説明図である。
- 第10図は通常のEXBフィールド発生器の構成図である。

発明を実施するための最良の形態

- 15 電子源から放出される一次電子線は電子源の特性によりエネルギーのばらつきをもっている。たとえば、高輝度の電子線が得られるショットキー形の電子源から放出される電子線は0.4eV～0.6eV程度のエネルギー幅を有している。このようにエネルギーのばらつきを有する電子線が電氣的に偏向されると、その偏向量がビームのエネルギーに依存するため、エネルギーのばらつきに対応して試料に到達する電子線がエネルギー分散
- 20 を起こす。このエネルギー分散は電子線のぼけとなるため、分解能の低下を引き起こす。本発明の具体的な実施例の説明に先立ってその原理をまず説明する。

図7を参照するに一次電子線4は偏向コイル15が発生する磁場により偏向され、対物レンズ7の中心を通過して試料10に照射される。偏向コイル15によって偏向された一次電子線の試料10上での偏向量を r_d とすると、 r_d は、

$$25 \quad r_d = k_d \cdot I_d \cdot V_{acc}^{-1/2} \quad (1)$$

与えられる。ここで、 k_d は偏向コイル15の形状や巻き数で決まる偏向感度係数、 I_d は偏向コイル15の電流、 V_{acc} は偏向コイル15を通過する電子の加速電圧を表す。

電子線エネルギーの変化は、加速電圧の変化と等価であるため、加速電圧 V_{acc} の一次電子が偏向コイル15で r_i の偏向作用を受けると、一次電子線4のエネルギーばらつき（エネルギー分散） ΔV により、試料10上での電子線は、

$$\Delta r_i = (dr_i / dV_{acc}) \cdot \Delta V = -0.5 \cdot r_i \cdot (\Delta V / V_{acc}) \quad (2)$$

- 5 の軌道分散を受ける。この軌道分散は電子線のぼけになるため、分解能が低下する。たとえば、加速電圧 (V_{acc}) 1kVにおいて、イメージシフト量 (r_i) を $10\mu m$ とし、電子線のエネルギー幅 (ΔV) を0.4eVとすれば、式(2)で計算される軌道分散（ビームのぼけ）は2 nmとなる。すなわち、 $10\mu m$ のイメージシフトを行うと、イメージシフトに対応する方向に2 nmの軌道分散（ビームのぼけ）が発生する。このことは、たとえば、1 kVで2 nmの分解能が得られる装置では、 $10\mu m$ のイメージシフトによって、
10 ビーム形状が図8 (a) から (b) に示すようになり、軌道分散の方向で分解能が4 nmに低下することを意味する。

一次電子線の収束には、通常、磁界形の対物レンズを用いるが、収束性能をさらに高めるために、しばしば対物レンズと試料との間に一次電子線の減速電界を発生させる。

- 15 この方法はリターディング法として知られているが、このような電子光学系では、一次電子線がイメージシフトのために偏向されて対物レンズに斜めに入射されると、対物レンズと試料との間の減速電界により軌道分散が助長される。この対物レンズと試料との間の減速電界による軌道分散の程度はイメージシフトの量と減速電界の強さに依存する。

- 20 一次電子線を試料上に収束させるために、通常は、対物レンズを含む複数の収束レンズが使用される。このような電子光学系において、図9に示すように、一次電子線が収束レンズの中心軸からずれた軌道を通過すると、その収束レンズでは、本来の収束作用の他に、偏向作用も発生する。この偏向作用により、イメージシフトの場合と同様に、一次電子線のエネルギーばらつき ΔV に起因した軌道分散が発生する。

- 25 これまでの電子線装置では、1 kVの加速電圧で2 nm程度もしくはそれ以下の分解能が得られないため、イメージシフトや収束レンズの軸ずれに起因したエネルギー分散については、認識されることはなかった。唯一、特許第2821153号明細書で述べている

ように、加速された二次電子の軌道を偏向するために設けた $E \times B$ フィールドで発生する強いエネルギー分散作用のみが分解能阻害要因として認識され、この補正法が開示されているのみである。しかも、特許第2821153号明細書に開示されているエネルギー分散の補正については、二次電子偏向用の $E \times B$ で生じる単一方向の分散補正だけで、二次元的に任意の方向に発生する前述のエネルギー分散の補正については、何ら考慮されることはなかった。これは、今まではイメージシフトや収束レンズの軸ずれに起因したエネルギー分散の影響を認識できなかったことに由来する。

一次電子線のエネルギー分散を補正するには、逆向きのエネルギー分散を発生させればよいが、前述のように分散作用が二次元的に任意の方向で発生する場合には、これを補正するためのエネルギー分散も任意の方向に発生させることが必要になる。

一次電子線にエネルギー分散を発生させるには、一次電子線に電氣的偏向作用を与えればよい。このとき、この偏向作用を磁界と電界とでそれぞれ逆向きに与えてやると、平均エネルギーの一次電子に対してはその軌道を偏向しないで、ビームエネルギーのばらつきに起因したエネルギー分散だけを一次電子線に発生させることができる。このためには、一次電子線に偏向作用を与える電界と磁界とを互いに直交するように発生させればよい。この原理は、ウィーンフィルタ、あるいは、 $E \times B$ (E クロス B) として知られている。

通常は、 $E \times B$ は、一次電子線のエネルギーの不揃いを改善する目的（エネルギーフィルタ）や、エネルギーの大きく異なる電子、あるいは、進行方向が互いに逆向きの電子を分離する目的に用いられている。こうした目的においては、偏向作用をある特定の方向にのみ発生させればよい。通常は、図10に示すような一組の電極と一組の磁界発生器で構成した $E \times B$ を用いられる。あるいは、特開平6-132002号公報に記載されているように、一組の電極に対して、コイルを2対設けて、電界と磁界の直交性をより確実にする方法をとっている。

ところが、イメージシフトのような偏向によって発生する一次電子のエネルギー分散は、イメージシフトの動作方向に連動してあらゆる方向に発生するため、 $E \times B$ を構成する電界と磁界の向きおよびその大きさは、イメージシフトの動作に連動して制御する必

要がある。このため、分散制御用のE×Bフィールドを発生する手段は、図2に示すように、互いに直交して配置された2対の電界発生器と磁界発生器で構成される。

以下に、電子線軸と直交（交叉）する平面内において一次電子線に任意の方向および任意の大きさのエネルギー分散を発生させる方法について、図2を参照して説明する。

- 5 図2において、電界発生器および磁界発生器は一次電子線に対する偏向支点が同一平面上に位置するように配置される。電界発生器は電子線軸上で互いに直交する電界を発生する第1の組のE×B制御電極36a、36b及び第2の組のE×B制御電極37a、37bで構成され、第1の組の電極及び第2の組の電極はそれぞれ対向して配置される。磁界発生器は電子線軸上で互いに直交する磁界を発生する第1の組のE×B制御偏向コイル38a、38b
10 および第2の組のE×B制御偏向コイル39a、39bで構成され、第1の組のコイルおよび第2の組のコイルは互いに対向して配置される。第1の組の電極により発生する電界は第1の組のコイルにより発生する磁界と直交しており、第2の組の電極により発生する電界は第2の組のコイルにより発生する磁界と直交している。

- E×B制御電圧 V_x 、 V_y については、それぞれの組の電極（36a、36b、37a、38b）にそれぞれ極性の異なる電圧（ V_x 、 $-V_x$ ）、（ V_y 、 $-V_y$ ）が印加される。一方、この制御電圧（ V_x 、 V_y ）は、電圧合成回路35にも供給され、次式で与えられる電圧－電流変換を行った後に、電流 I_x 、 I_y としてそれぞれの組のE×B制御コイル（38a、38b、39a、39b）に供給される。

$$I_x = (K_{xx} \cdot V_x + K_{xy} \cdot V_y) \cdot V_{acc}^{-1/2} \quad (3)$$

$$20 \quad I_y = (K_{yx} \cdot V_x + K_{yy} \cdot V_y) \cdot V_{acc}^{-1/2} \quad (4)$$

- ここで、 K_{xx} 、 K_{xy} 、 K_{yx} 、 K_{yy} の値は、 V_x および V_y で発生する電界、および式（3）、式（4）で制御された磁界による一次電子線の偏向作用が互いに打ち消し合うように設定される。この設定は、たとえば、制御電圧 V_x を変調したり、あるいは、オン/オフ動作を行って試料上での一次電子線の動き（走査像の動き）をモニタし、この動きが止まるように K_{xx} 、 K_{xy} の条件を合わせ込むことで得られる。また、E×B制御電圧 V_x を予め定められた異なる条件（例えば、0Vと5V）に設定して、それぞれの条件で得られる画像を取り込む手段を設け、取り込まれた画像間の位置ずれを画像処理により検出すれば、こ

のずれから、予め実験やシミュレーション等で定められた計算により K_{xx} 、 K_{xy} の最適条件を自動的に決定することができる。 V_y に対しても同様の調整により、 K_{yz} 、 K_{yy} の値が設定できる。これらの値は、ひとたび合わせ込まれると、加速電圧 V_{acc} が変わっても、式(3)および式(4)の加速電圧連動制御($V_{acc}^{-1/2}$)により、 $E \times B$ フィールドによる一次電子線の偏向作用が常に打ち消し合う条件が維持される。したがって、 $E \times B$ 制御電圧 V_x および V_y を制御することで、一次電子線に偏向作用を与えずに、この制御電圧に対応したエネルギー分散を一次電子線に発生させることができる。

上述のように、図2の $E \times B$ フィールド発生装置によれば、一次電子線に対する偏向作用の打ち消し条件(ウィーン条件)を満足して、かつ、任意の方向にエネルギー分散を発生させることができる。したがって、イメージシフトの向きや大きさに対して、試料上に収束された一次電子線が受けるエネルギー分散の向きと大きさを、予め、実験やシミュレーションで把握しておけば、これを打ち消すようにイメージシフトに連動した $E \times B$ の制御が可能になる。

対物レンズと試料との間に、一次電子線の減速電界を発生させて分解能を高めている場合には、一次電子線に生じるエネルギー分散の大きさは、減速電界にも依存する。そのため、イメージシフトだけでなく、減速電界の強さ(たとえば、試料に印加する負の電圧)にも連動した制御を行う。この制御は、予め、計算あるいは実験により減速電界の強さとエネルギー分散補正量との関係を調べておき、これを制御プログラムに組み込むことで実現できる。

また、一次電子線が収束レンズの軸外を通過して発生するような、イメージシフト以外の要因で発生するエネルギー分散に対しても、これを打ち消すエネルギー分散を発生させるような $E \times B$ 制御電圧を与えることができる。ただし、収束レンズの軸ずれに起因して発生するエネルギー分散成分は、軸調整の精度に依存するため、エネルギー分散の調整(補正)が手動で行える手段を設けている。

さらに、 $E \times B$ を構成する電界と磁界の強さに対して一次電子線が受けるエネルギー分散は、加速電圧だけでなく、レンズの焦点距離に代表される電子光学系の動作状態によっても異なる。また、低加速電圧の分解能を向上するために、一次電子を加速する加速

電極を対物レンズ部に配置する電子光学系の構成においては、その加速電極の印加電圧によっても発生するエネルギー分散の大きさや方向が変化する。そのため、 $E \times B$ の制御電圧と電子光学系動作パラメータ、あるいは、対物レンズ部の加速電極の印加電圧との関係を予め実験やシミュレーションで把握しておき、 $E \times B$ の制御電圧を電子光学系動作

5 パラメータに連動させることで、任意の光学系動作条件やイメージシフトに対して、一次電子線のエネルギー分散（分解能低下）を回避することができる。

一次電子線に生じるエネルギー分散が、主にイメージシフトに起因する場合には、エネルギー分散を発生しないビーム偏向手段をとることができる。この手段として、互いに直交関係を維持し、かつ任意の方向に電界と磁界とを発生させる手段（ $E \times B$ フィールド発生手段）を用い、一次電子線の磁界による偏向角と電界による偏向角とについて2

10 倍の関係を保つ方法を見出した。この方法手段によれば、任意のビーム偏向に対して、以下の理由から、エネルギー分散が全く発生しない。

電界 E と磁界 B によるエネルギー V_{acc} の電子の偏向角 θ_E と θ_B は、それぞれ、次のように書ける。

$$15 \quad \theta_E = K_E \cdot V_E / V_{acc} \quad (5)$$

$$\theta_B = K_B \cdot I_B / \sqrt{V_{acc}} \quad (6)$$

このとき、エネルギーばらつき ΔV による電子線の偏向角の変動（分散）をそれぞれ、 $\Delta \theta_E$ 、 $\Delta \theta_B$ とすると、

$$20 \quad \begin{aligned} \Delta \theta_E &= (d\theta_E / dV_{acc}) \Delta V \\ &= -(\Delta V / V_{acc}) \cdot \theta_E \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Delta \theta_B &= (d\theta_B / dV_{acc}) \Delta V \\ &= -0.5 (\Delta V / V_{acc}) \cdot \theta_B \end{aligned} \quad (8)$$

となり、電界と磁界による一次電子線の偏向量が同じ場合、両者で発生するエネルギー分散の大きさは2倍異なる。したがって、磁界による偏向角を電界による偏向角の2倍とし、かつ、磁界と電界による一次電子線の偏向方向が逆向きになるように、 $E \times B$ フィールドの電界と磁界の強さを設定すれば、電界と磁界によるエネルギー分散がちょうど打ち消し合う結果となる。すなわち、電界による一次電子線の偏向量（試料上での値）を

25

rdとし、磁界による偏向量を電界と逆向きに $2rd$ とすれば、ビーム偏向に伴うエネルギー分散が全く発生せず、分解能低下が生じない。このとき、一次電子線に対するトータルの偏向量は電界と磁界の偏向量の差（電界と磁界との偏向方向が逆のため） rd となり、エネルギー分散の発生しない偏向手段が実現される。通常の装置におけるイメージシフト機能では、対物レンズの上部に配置したビーム偏向手段で一次電子線を偏向する際に、偏向に伴って発生する対物レンズ収差が最小になるように、偏向手段を光軸に沿って2段配置して動作させる。これら2段のビーム偏向手段を、電界と磁界との偏向量がそれぞれ2倍の関係になるように制御された、上記 $E \times B$ フィールドに置き換えれば、エネルギー分散による分解能低下が生じないイメージシフト機能が実現される。

- 10 なお、電界と磁界の偏向量の関係を2倍に保った $E \times B$ フィールドは、色収差を発生させない偏向器として、イメージシフトに限らず、一次電子線のアライメントなどを目的とした偏向器として使用することができる。

次に、本発明による望ましい実施例を説明する。図1を参照するに、陰極1と第一陽極2の間には、マイクロプロセッサ（CPU）40で制御される高圧制御電源20により電圧が印加され、所定のエミッション電流で一次電子線4が陰極1から引き出される。陰極1と第二陽極3の間には、CPU40で制御される高圧制御電源20により加速電圧が印加されるため、陰極1から放出された一次電子線4は加速されて後段のレンズ系に進行する。一次電子線4は、レンズ制御電源21で制御された収束レンズ5で収束され、絞り板8で一次電子線の不要な領域が除去された後に、レンズ制御電源22で制御された収束レンズ6、および対物レンズ制御電源23で制御された対物レンズ7により試料10に微小スポットとして収束される。対物レンズ7は収束レンズの一種で、収束レンズ6および対物レンズ7は通常励磁電流を流すことで収束レンズ作用を生じる磁界形である。

一次電子線4は、走査コイル9で試料10上を二次元的に走査される。一次電子線の照射で試料10から発生した二次電子等の二次信号（試料信号）12は、対物レンズ7の上部に進行した後、二次信号分離用の直交電磁界発生装置11により、一次電子4の軌道から分離されて二次信号検出器13の方向に偏向される。偏向された二次信号12

は、その後、二次信号検出器 13 で検出される。二次信号検出器 13 の信号は、信号増幅器 14 を経て、像信号として画像メモリ 25 に記憶される。画像メモリ 25 に記憶された画像情報は、像表示装置 26 に随時表示される。走査コイル 9 への信号は、観察倍率に応じて走査コイル制御電源 24 により制御される。走査コイル 9 の位置には、イメージシフト用の偏向コイル 15 が配置されており、必要な視野移動量に応じてイメージシフト制御電源 27 により制御される。

試料 10 には、負の電圧 VR (リターディング電圧) が印加されて、一次電子は試料の直前で減速される。また、対物レンズ 7 の部分には、一次電子を一時的に加速するブースタ電極 16 が配置され、この電極には正の電圧が印加される。このリターディング電圧とブースタ電圧は、制御 CPU 40 で制御され、低加速電圧における分解能の改善が図られる。

走査コイルと収束レンズ 6 の間には、試料 10 上の収束電子線に対して任意のエネルギー分散を与えることのできる、分散制御用の E×B フィールド発生器 30 が配置され、制御電源 31 で制御される。分散制御用の E×B フィールド発生器 30 およびその制御電源 31 は、図 2 に示す構成を有しており、制御電圧 V_x 、 V_y およびコイル電流 I_x 、 I_y は、式 (3) および式 (4) の関係が満たされるように制御 CPU 40 で制御される。

制御 CPU 40 には、操作パネル上のつまみ 32 が接続されており、分散制御用 EXB の調整時には、このつまみ 32 の調整で式 (3) および式 (4) の係数 (K_{xx} 、 K_{xy} 、 K_{yx} 、 K_{yy}) の値が入力できる。なお、この調整のときには、制御 CPU 40 からは、分散制御用 E×B の制御電圧 (V_x 、 V_y) が片方ずつ変調されるように制御電源 31 に信号が与えられる。したがって、操作者 (調整者) は、制御電圧 (V_x 、 V_y) の変調に伴う像の動きが無くなるように、つまみ 32 を調整して分散制御用 E×B の係数 (K_{xx} 、 K_{xy} 、 K_{yx} 、 K_{yy}) の最適値を設定することができる。分散制御 E×B 用の係数は、つまみ 32 の代わりに、マウスポインタなどにより、モニタ CRT に表示されたカーソルやスクロールバーを制御しても可能である。

図 3 に、分散制御用 E×B の係数を調整するためのモニタ CRT の画面 (調整画面) の一例を示す。分散制御用 E×B の係数を調整するときには、図 3 の画面を表示し、以下の手

順で係数を設定する。

- (1)調整画面内のWobbler Xのボタンをマウスでクリックする。このとき、制御CPU40は、制御電圧 V_x が周期的に変化するように制御電源31を制御する。
- (2)分散補正用 $E \times B$ の係数 K_{xx} 、 K_{xy} の値が不適切の場合には、制御電圧 V_x の変化に対応して走査像の視野が動くため、この視野変動が実質的になくなるように調整画面内のスライドバーXXおよびXYを調整する。スライドバーの右に表示される数値は、設定される係数を表しており、この表示窓に直接数値を入力することもできる。
- (3)調整画面内のWobbler Yボタンをマウスでクリックする。この操作で、制御電圧 V_y が周期的に変化する。
- 10 (4)調整画面内のスライドバーYXおよびYYを調整して、走査像の動きを止める。
- (5)調整画面内のSaveボタンをクリックして調整された係数 (K_{xx} 、 K_{xy} 、 K_{yx} 、 K_{yy}) を制御CPUのメモリに保存する。
- (6)調整が完了したら、Exitボタンをマウスでクリックして、調整画面を閉じる。

15 なお、制御電圧 (V_x 、 V_y) の変調による画像の動きを検出する画像処理機能を設ければ、画像の動きがなくなるように、係数 (K_{xx} 、 K_{xy} 、 K_{yx} 、 K_{yy}) の自動設定も可能である。

図4は、上記調整操作を画像処理により自動で行う処理フローの一例を示している。制御電圧 V_x に関する係数 K_{xx} 、 K_{xy} を決定する場合、まず、 V_x が0Vと+5Vのそれぞれで画像を取り込む(S1)。取り込まれた両画像を相対的にX、Y方向に画素単位でずらしながら、両画像の相関をとる(S3)。相関が最大となる両画像間のずらし量を検索する(S4)。画像の相関は両画像の視野が一致して重なる条件になったときに最も大きくなる。画像の相関が最も大きくなったときの画像のずらし量から制御電圧 V_x の変化(5V)に対する視野のずれ(大きさと方向)を正確に算出する(S5)。同様にして、係数 K_{xx} 、 K_{xy} の異なる値に対する画像を取り込んで、各係数による画像の動き量を定量的、かつ自動的に算定できる(S6、S7)。この結果から、制御電圧 V_x による像の動きをキャンセルするように係数 K_{xx} 、 K_{xy} を計算して設定する(S8)。制御電圧 V_y に関する係数 K_{yx} 、 K_{yy} 野設定も同様に行う。

- 図5は、イメージシフトをX方向に動作させたときの分散制御用EXB制御電圧とイメージシフト量との関係を表す一例である。イメージシフトが0のときには、イメージシフト以外の要因で発生する軌道分散を打ち消すように、分散制御用EXBの制御電圧 (V_x 、 V_y) のオフセット値が設定される。このオフセット値には、対物レンズ以外の収束レンズの軸ずれに起因する軌道分散や、二次電子を偏向するためのEXBフィールドで発生する軌道分散の補正が含まれる。イメージシフトの方向 (図3の例では、X方向) と軌道分散の方向とが一致しなかったり、イメージシフトコイル (X、Y) の方向と分散 A_{yx} 、 A_{yy} 制御用の電界 (X、Y) の向きも必ずしも一致しないことから、図3においては、イメージシフトのX方向に対して、分散制御用の電圧は V_x 、 V_y の両方が連動して制御される。
- また、この制御電圧 V_x 、 V_y とイメージシフトとの関係は、加速電圧、および試料と対物レンズの電界の強さ (図1におけるリターディング電圧 V_R 、対物レンズ部のブースタ電極16の電圧 V_B) に連動して、予め設定された条件で制御される。

- 図5において、イメージシフトが0の条件における制御電圧 V_x 、 V_y の値は、収束レンズ6による一次電子線の収束点の変化に連動して制御される。
- イメージシフトや他の要因で発生するエネルギー分散野補正は、EXBフィールド発生器30における制御パラメータ V_x 、 V_y を次のように制御して行う。

$$V_x = A_{xx} \cdot X_i + A_{xy} \cdot Y_i + V_{x_0} \quad (9)$$

$$V_y = A_{yx} \cdot X_i + A_{yy} \cdot Y_i + V_{y_0} \quad (10)$$

- ここで、 X_i 、 Y_i はイメージシフトの制御量 (試料上での電子線の偏向量) を表す。制御係数 A_{xx} 、 A_{xy} 、 V_{x_0} 、 A_{yx} 、 A_{yy} 、 V_{y_0} は図6の手順で加速電圧や減速電界などの異なる光学条件毎に予め求めておき、外部記憶装置41に記憶保存される。

装置の加速電圧や減速電界などの光学条件が設定されると、CPU40は対応する制御係数 (A_{xx} 、 A_{xy} 、 V_{x_0} 、 V_{y_0}) を外部記憶装置41から読み出して、イメージシフトの制御に連動して式 (9) および (10) の関係が満たされるよう制御を実行する。

- 図6は補正係数および制御係数の決定手順を示す。分散補正手段 (分散制御用E×Bフィールド発生器30) の調製手段 (つまみ32) により式 (3) および (4) の補正係数 k_{xx} 、 K_{xy} 、 K_{yx} 、 K_{yy} を決定し (S1)、またイメージシフト制御量 X_i 、 Y_i がともに0の条

件で電子線の軌道分散を補正し、分散が完全に補正できる分散補正手段の制御パラメータ V_x 、 V_y を制御係数 V_{x_0} 、 V_{y_0} とする（S2）。さらに、イメージシフト制御量 X_i を予め定められた所定の値に設定して、電子線の軌道分散が完全に補正できる分散補正手段の制御パラメータ V_x 、 V_y を調整し、この条件から分散補正手段の制御係数 A_{xx} 、 A_{xy} を決定し

5 （S3）、また、イメージシフト制御量 Y_i を予め定められた所定の値に設定して、電子線の軌道分散が完全に補正できる分散補正手段の制御パラメータ V_x 、 V_y を調整し、この条件から分散補正手段の制御係数 A_{yx} 、 A_{yy} を決定する（S4）。以上のようにして決定された補正係数および制御係数は外部記憶装置41に記憶される。

以上説明した実施例によれば、イメージシフトや他の要因で発生する一次電子のエネルギー分散に起因する軌道の分散を打ち消すことができるため、特に低加速電圧で高分

10 解能が得られる電子線装置において、分解能の低下を防止するとともに、任意の方向へのイメージシフトが可能である。

本発明の本質を逸脱することなしに多くの変更および変形がなされ得ることは自明であるので、本発明は記述した実施例に限定されるべきではないものとする。

請 求 の 範 囲

1. 電子線を放出させる電子源と、前記電子線を収束する収束レンズと、前記収束された電子線を試料上で走査して該試料の走査像を生成する手段とを含む電子線装置において、前記電子線をエネルギー分散させかつそのエネルギー分散を前記電子線の軸を横
- 5 切る平面内において任意方向に生成することができるエネルギー分散制御手段を備えていることを特徴とする電子線装置。
2. 前記エネルギー分散制御手段は $E \times B$ フィールドを発生する手段を含み、前記 $E \times B$ フィールドは前記電子線の軸上で互いに交叉する電界と磁界とを含むことを特徴とする請求の範囲第1項に記載された電子線装置。
- 10 3. 前記 $E \times B$ フィールドは前記電子線の軸を横切る平面内において互いに直交する方向にエネルギー分散を発生させるようなものであることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載された電子線装置。
4. 前記 $E \times B$ フィールドは前記電子線に対して偏向作用を発生させないようなものであることを特徴とする請求の範囲第2項又は3項に記載された電子線装置。
- 15 5. 前記 $E \times B$ フィールドは互いに直交しかつ独立に制御可能な第1及び第2の電界成分と互いに直交しかつ独立に制御可能な第1及び第2の磁界成分を含むことを特徴とする請求の範囲第2項～第4項のいずれかに記載された電子線装置。
6. 前記電子線を加速するための加速電圧を発生する手段を含み、前記エネルギー分散制御手段は前記電子線の加速電圧に連動して制御されることを特徴とする請求の範囲
- 20 第1項～第5項のいずれかに記載された電子線装置。
7. 前記試料に電圧を印加する手段を有し、前記エネルギー分散制御手段は前記試料印加電圧に連動して制御されることを特徴とする請求の範囲第1項～第6項のいずれかに記載された電子線装置。
8. 前記試料を照射する電子線一時的に加速するための正電位を発生させる一時加速手
- 25 段を含み、前記エネルギー分散制御手段は前記一時加速電位に連動して制御されることを特徴とする請求の範囲第1項～第7項のいずれかに記載された電子線装置。
9. 前記収束レンズは励磁電流を流すことで収束レンズ作用を得る磁界形であり、前記

エネルギー分散制御手段は前記励磁電流に連動して制御されることを特徴とする請求の範囲第1項～第8項のいずれかに記載された電子線装置。

10. 前記電子線を電氣的に偏向して前記試料上を走査する電子線の位置を移動するイメージシフト手段を含み、前記エネルギー分散制御手段は前記イメージシフト手段による前記試料上における前記電子線の変更方向及び偏向量に連動して制御されることを特徴とする請求の範囲第1項～第9項のいずれかに記載された電子線装置。

11. 前記エネルギー分散制御手段の制御を操作パネル上に配置されたつまみの操作又は画面上に表示されたポインタのマウス操作により手動で行うようにしたことを特徴とする請求の範囲第1項～第10項のいずれかに記載された電子線装置。

10. 12. 前記エネルギー分散制御手段の制御によって前記電子線が偏向作用を受けないように前記エネルギー制御手段の制御条件を電氣的に調整する調整手段を有することを特徴とする請求の範囲第1項～第11項のいずれかに記載された電子線装置。

15. 13. 前記調整手段は、前記エネルギー分散制御手段の制御値を時間的に変調する手段と、前記調整条件入力のための操作パネル上のつまみ又はマウスポインタからとを含むことを特徴とする請求の範囲第12項に記載された電子線装置。

14. 前記エネルギー分散制御手段の制御条件を、予め設定された異なる複数の条件に設定し、該制御条件に対応する画像を取り込み、該取り込んだ複数の画像から前記エネルギー分散制御手段の制御条件変更による画像の位置ずれを検出し、該検出結果にもとづき、前記エネルギー分散制御手段の制御条件を設定する手段を有することを特徴とする請求の範囲第1項～第13項のいずれかに記載された電子線装置。

15. 電子線を放出させる電子源と、前記電子線を収束する収束レンズと、前記収束された電子線を試料上で走査して該試料の走査像を生成する手段とを含む電子線装置において、前記電子線の軸上で互いに直交する電界および磁界を発生させる手段と、前記電界および磁界による前記電子線の偏向方向のずれを 180° とし、かつ、前記電子線の偏向角が前記電界と磁界とで1対2の関係となるように前記電界および磁界の強さを制御する手段とを有することを特徴とする電子線装置。

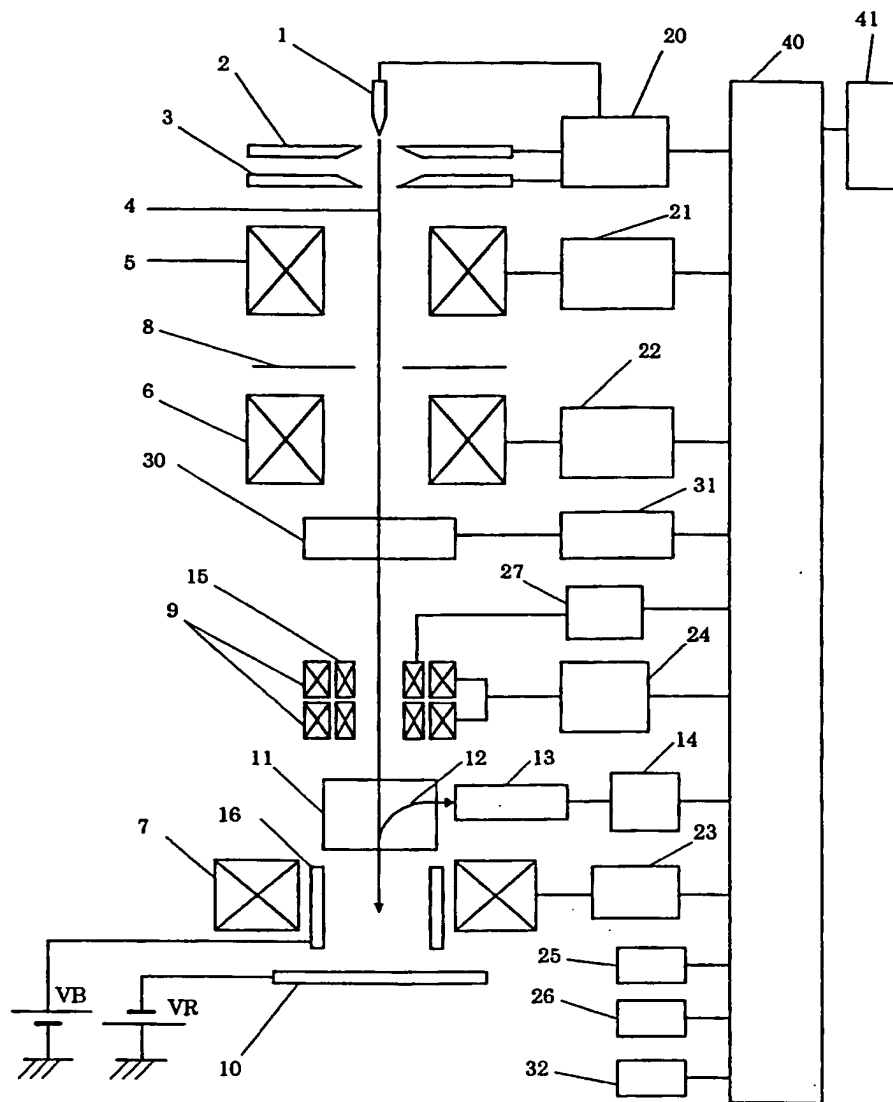
16. 前記電界および磁界発生手段は前記電子線をその光軸を横切る平面上で互いに直

交する方向にそれぞれ独立に偏向するように２組配置されていることを特徴とする請求の範囲第項１５に記載された電子線装置。

１７．前記２組の電界および磁界発生手段は前記電子線に対する偏向支点が同一平面上に位置するように配置されることを特徴とする請求の範囲第１６項に記載された電子線装置。

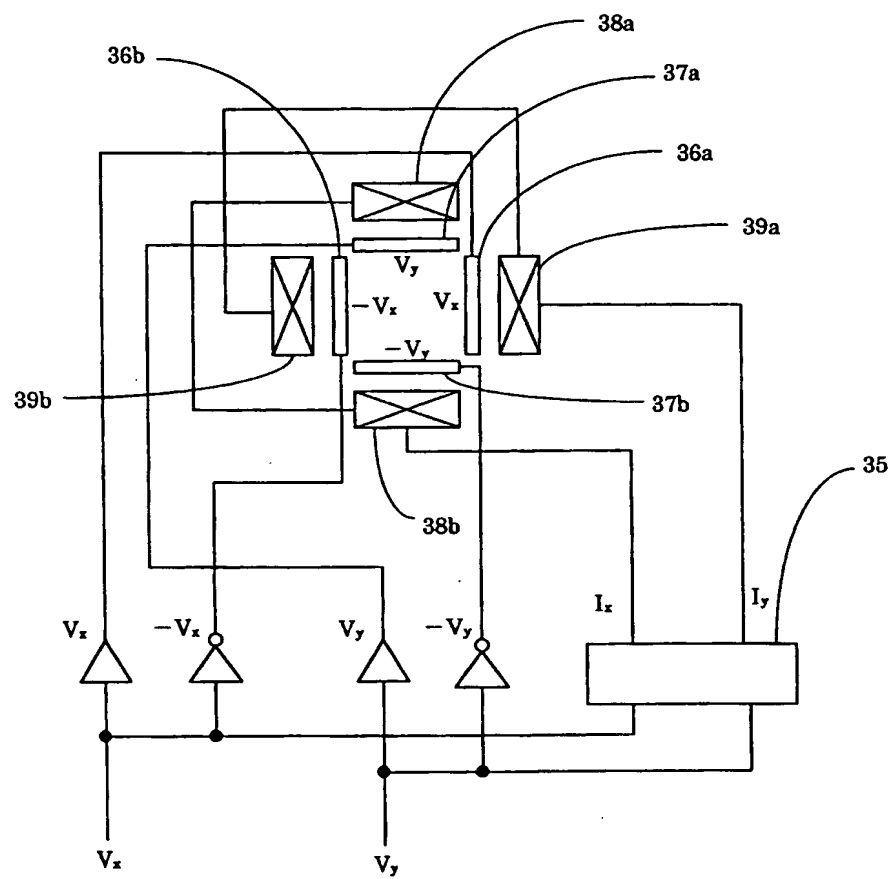
１８．前記２組の電界および磁界発生手段は前記電子線の軸に沿って異なる位置に配置され、かつ前記電子線に対する各々の偏向角を予め定めた一定の比率と方向の関係を維持して制御する制御手段を有することを特徴とする請求の範囲第１６項に記載された電子線装置。

第1図

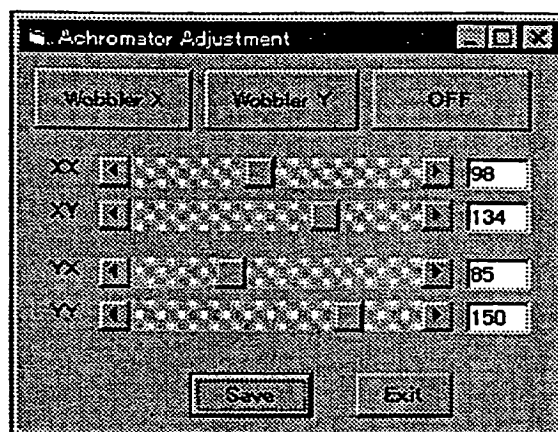


2 / 10

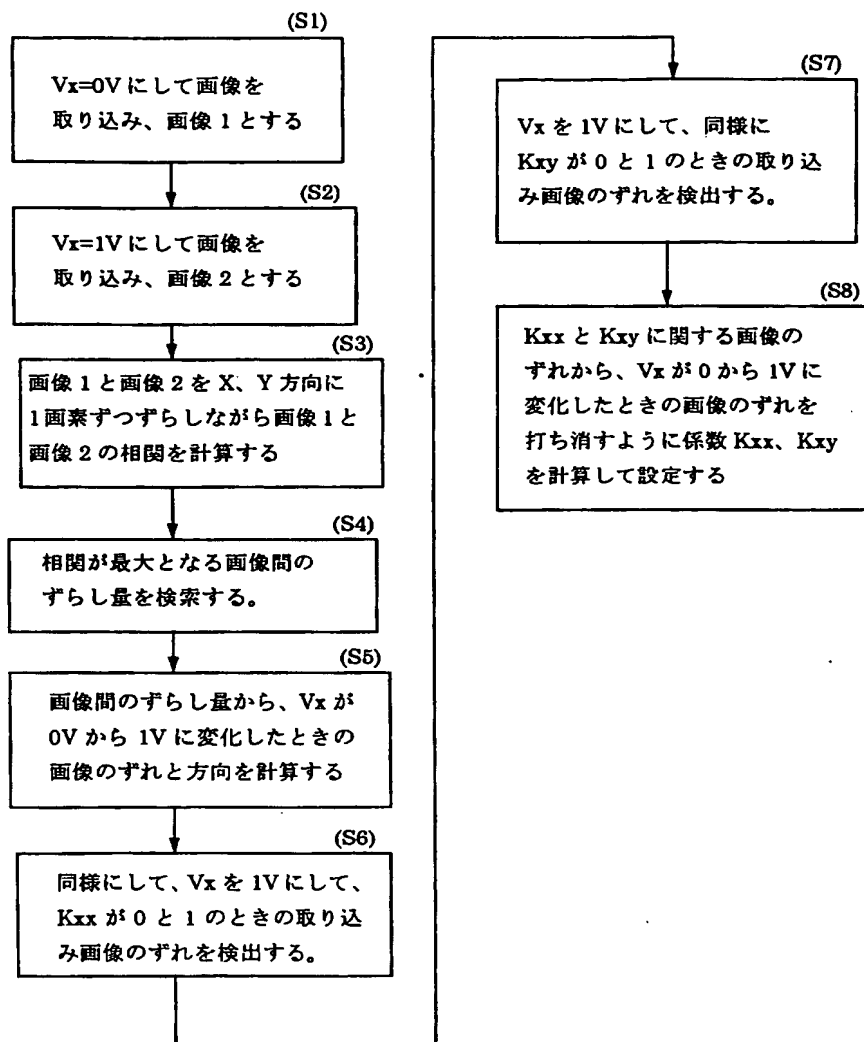
第 2 図



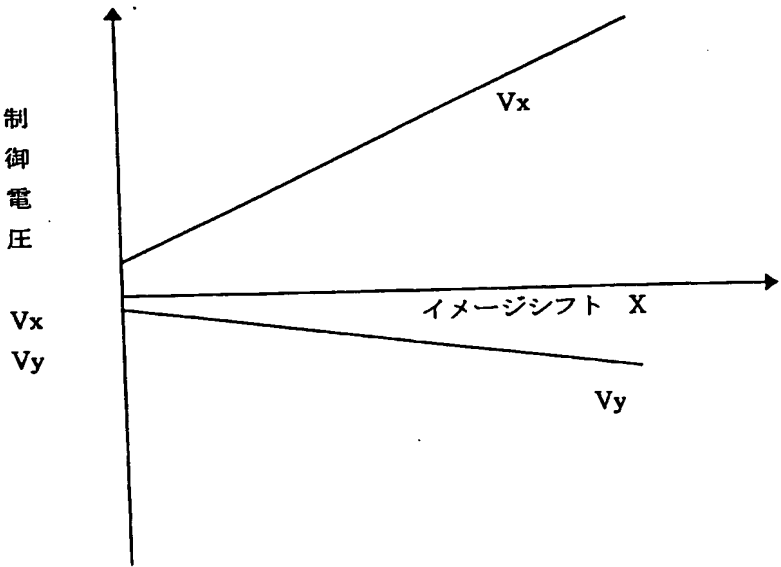
第3図



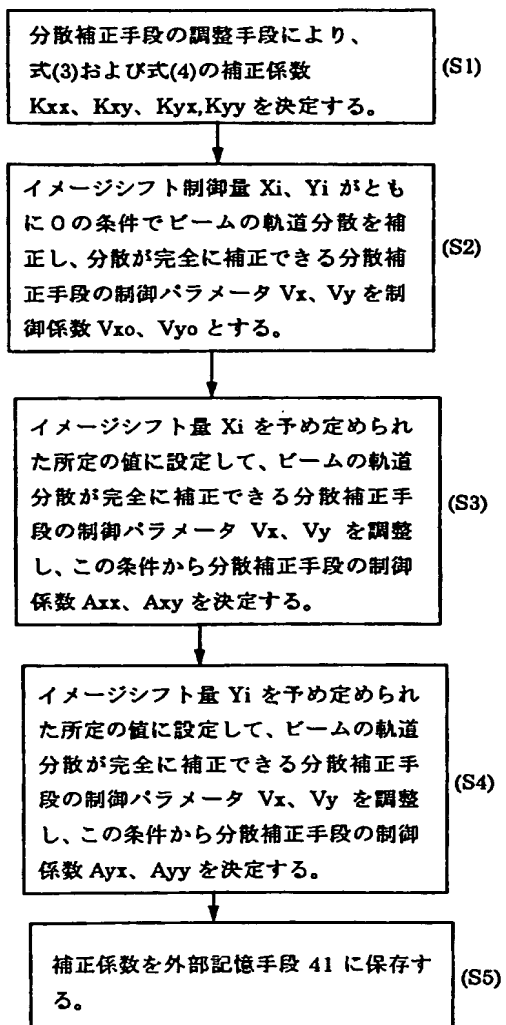
第 4 図



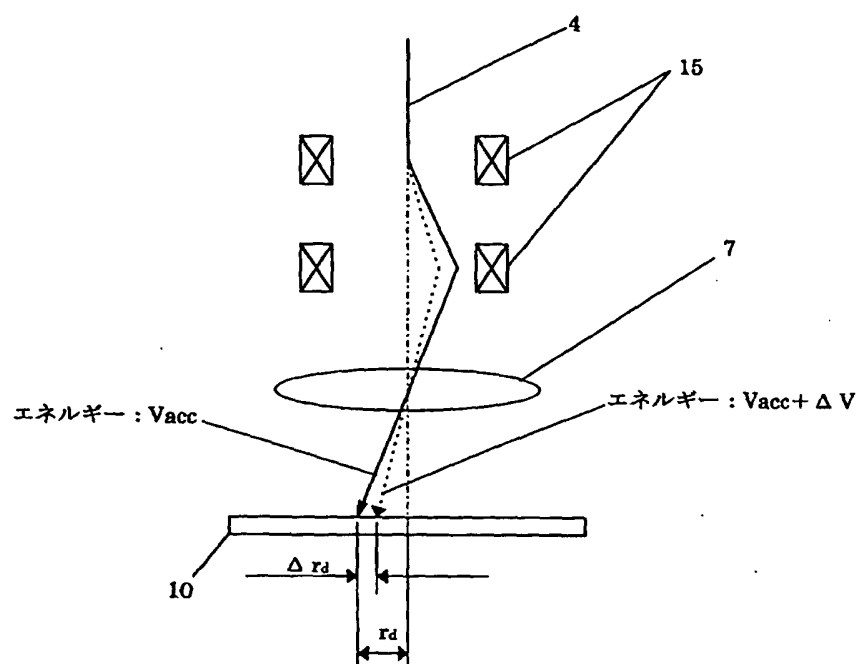
第 5 図



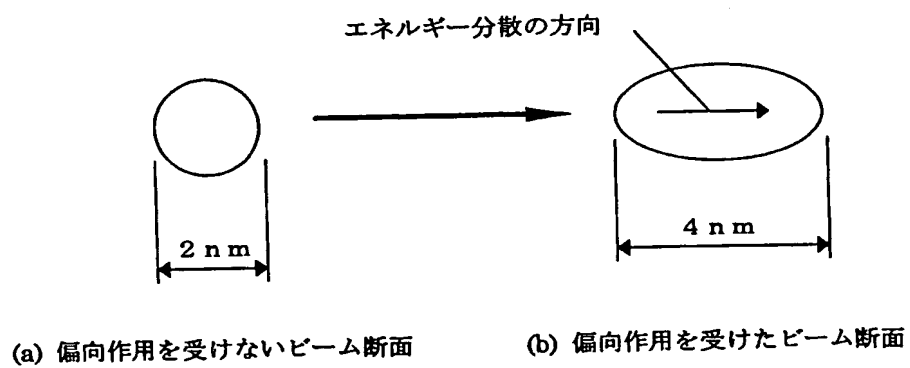
第6図



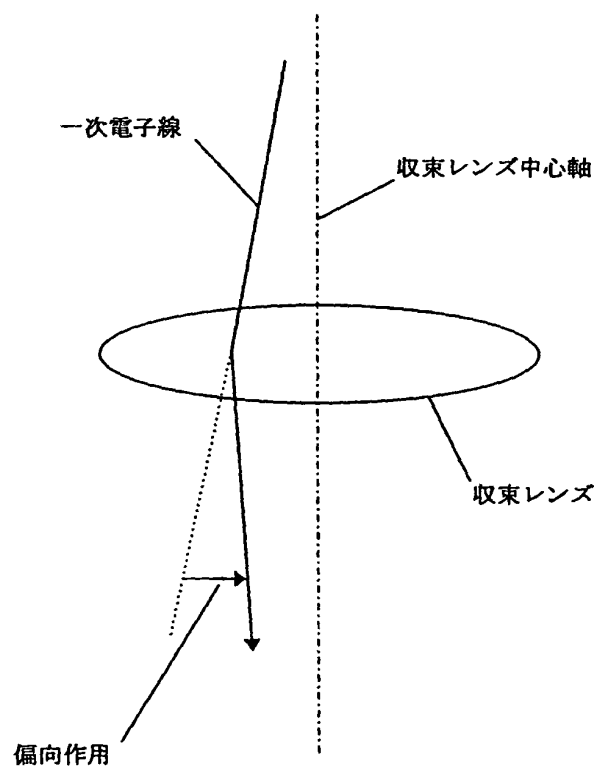
第 7 図



第 8 図

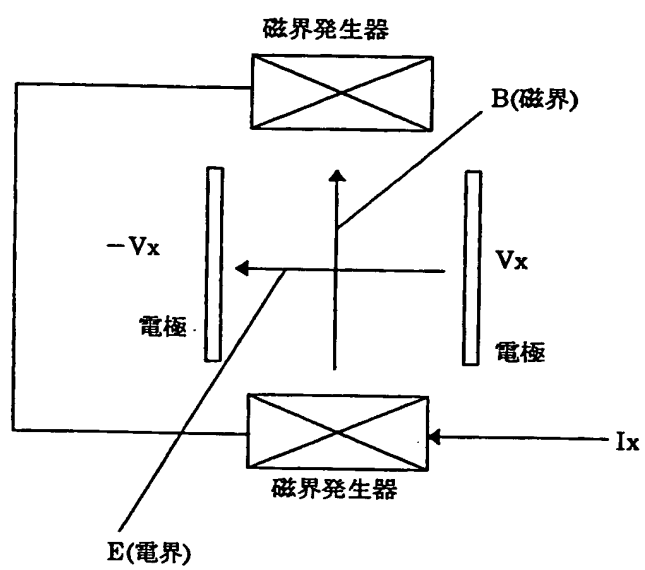


第9図



10 / 10

第10図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/06054

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl ⁷ H01J37/147, 37/153, 37/05		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl ⁷ H01J37/147, 37/153, 37/05 H01J49/44-49/48		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US, 5221844, A (U.S. Philips Corp.), 22 June, 1993 (22.06.93), Full text; Figs. 1 to 8	1-4, 11-13
A	Full text; Figs. 1 to 8 & EP, 500179, A & NL, 9100294, A & JP, 4-328232, A	5-10, 14-18
A	JP, 2-142045, A (Hitachi, Ltd.), 31 May, 1990 (31.05.90), Full text; Figs. 1 to 5 (Family: none)	1-18
A	US, 4978855, A (Max-Planck-Gesellschaft zur Foerderung der Wissenschaften e.V.), 18 December, 1990 (18.12.90), Full text; Figs. 1 to 4 & DE, 3904032, A & GB, 2230643, A & FR, 2644291, A & JP, 2-242555, A	1-18
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 25 January, 1999 (25.01.99)		Date of mailing of the international search report 08 February, 2000 (08.02.00)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 99/06054

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01J37/147, 37/153, 37/05

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01J37/147, 37/153, 37/05
H01J49/44-49/48

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-1999年
日本国登録実用新案公報	1994-1999年
日本国実用新案登録公報	1996-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X A	US, 5 221 844, A (U.S. Philips Corp.) 22. 6月. 1993 (22. 06. 93) 全文, 第1-8図 全文, 第1-8図 & EP, 5 001 79, A & NL, 9 100 294, A & JP, 4-328232, A	1-4, 11-13 5-10, 14-18
A	JP, 2-142045, A (株式会社日立製作所) 31. 5月. 1990 (31. 05. 90) 全文, 第1-5図 (ファミリーなし)	1-18

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25. 01. 99

国際調査報告の発送日

08.02.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

堀部 修平

印

2G 9215

電話番号 03-3581-1101 内線 3225

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	US, 4 9 7 8 8 5 5, A (Max-Planck-Gesellschaft zur Foerderung der Wissenschaften e.V.) 18. 12月. 1990 (18. 12. 90) 全文, 第1-4図 & DE, 3 9 0 4 0 3 2, A & GB, 2 2 3 0 6 4 3, A & FR, 2 6 4 4 2 9 1, A & JP, 2-2 4 2 5 5 5, A	1-18